中華農業研究（Jour. Agric. Res. China）41(4)：382～404（1992）

遮蔭裝置對溫室微氣候影響之研究

陳加忠　陳志昇

摘要：此研究之目的在於探討遮蔭設備對溫室溫度的影響與發展一套模式以描述此環控設備的影響量。在各種相關環控作業下，詳細收集兩型塑膠布溫室的微氣候數據，並進行模式驗證。模式的預測準確性在2°C之內。密閉溫室中裝設內遮蔭設備對熱累積之改良並無效果。在相同大氣環境與溫室設備下，外遮蔭之降溫能力優於內遮蔭設備。有關於遮蔭網之各項物理性質需要加以建立。

關鍵詞：遮蔭設備，溫室微氣候，環境模式

爲穩定作物生長，避免外界不良天候的影響，溫室的利用已日益普遍，但是由於本省位處亞熱帶與熱帶氣候區，充沛的陽光帶來強烈之日射能量，使密閉性溫室之溫室效應十分顯著。對本省溫室之利用型態而言，其主要目的在於適當的利用太陽光，以設施結構以避免午後雷雨，颱風暴雨，梅雨與多塞之塞害，而在此種溫室利用型態中，必須避免因溫度熱累積造成植物的枯萎日燒現象，因此遮蔭設備之利用成爲本省溫室慣用的環控設備。

國內的溫室遮蔭裝置主要有兩型，第一型係裝置於屋頂上平行之遮蔭設備（外遮蔭），依其與溫室屋頂的相對角度又可分成與屋頂平行式和與溫室地面平行式。至於外遮蔭網與屋頂之最適距離，至今尙未有詳細之研究，另一型係將遮蔭網裝置於溫室之內部（內遮蔭）。內外遮蔭與其遮蔭網與其遮蔭率對於濫用內部環境之影響尙未有詳細之研究資料以提供國內溫室建築與使用者參考：

國內對遮蔭設備與溫室溫度化之研究中，邱與吳氏（1988）曾對具有50%外遮蔭網之蝴蝶蘭栽培用。山型玻璃溫室與另一間無遮蔭栽培萵苣之玻璃溫室進行試驗，發現以50%遮蔭網之溫室，其溫室低於無遮蔭網之溫室0.5至1.5°C。由於兩溫室之形狀大小，建構材料與栽植之作物面積，種類均不相同，此研究比較之結果無法顯現正確的比較基礎。

利用數學模式之建立可以瞭解溫室外界之大氣條件與溫室設施各結構參數對溫室內部微氣候之影響。有關溫室模式建立與驗證之評論（Review）在陳氏（1992a）之研究中已有詳細之探討，在對只具有外遮蔭裝置之溫室其微氣候環境之影響研究方面，陳氏等（1992b）已建立模式並加以驗證以做爲溫室興建評估之用，其溫室與溼度之預測誤差值約爲2°C與5%。但是針對對遮蔭裝置之影響至今未有研究資料可供參考。

此研究之目的在於以兩型具有內外遮蔭設備之溫室，進行遮蔭裝置與其他環控設備對於溫室內微氣候影響之作業研究，並推展已建立之溫室模式（陳等，1991a，1992b）成爲包含內外遮蔭影響因子之新模式，以實際量測值驗證此模式之符合性，並依此模式進行敏感性分析，以爲國內溫與興建與利用之參考，雖然此研究之對象以國內慣用之塑膠布溫室爲主，但可應用於玻璃溫室。

含遮蔭效應之環境模式

---

1. 臺灣省農業試驗所　研究報告第 1646 號
2. 本所農工系副研究員，助理。臺灣省　臺中縣　霧峰鄉。

此模式之推衍以溫度爲主，溼度物性在溫室內溫度預測值合乎準確性要求時，即可依質傳原理而加以建立，因此不在此研究範圍。模式中與時間相關之能量爲地面傳熱。因爲國內氣候因子之不穩定性（陳等，1922b）以氣象公式直接計算氣象因子，並不符合實際狀況，模式參數之氣象條件如日照強度，溫室與溼度爲現地量測值，而非計算值。

模式之建立係以內遮蔭效應爲主。依內遮蔭之位置將溫室分隔成兩熱場。其推衍過程以熱能平衡爲主。合理假設條件依前述研究說明如下（陳等，1992a，1992b）

1. 溫室分隔之熱場無梯度現象。
2. 熱輻射係數爲定值，不因波長或日照強度等因子而改變。
3. 熱傳導，對流等係數爲常數，不因溫度改變。
4. 溫室之空氣，材料，植物等熱場爲穩定狀況（Steady-state）。
5. 土壤熱傳與時間相關，傳遞爲垂直向。

溫室中間之內遮蔭網其物性假設條件如下：

1. 遮蔭網之日照能僅考慮其穿透性，遮蔭網對日照能之能量吸收可以忽略。
2. 因自然通風或機械通風產生之上下層空氣對流，其因內遮蔭網使通風量降低之比例爲常數。

含內遮蔭網的溫室熱傳系統如圖一所示 。 以熱能平衡原理推衍之溫室上下層熱平衡公式說明如下：

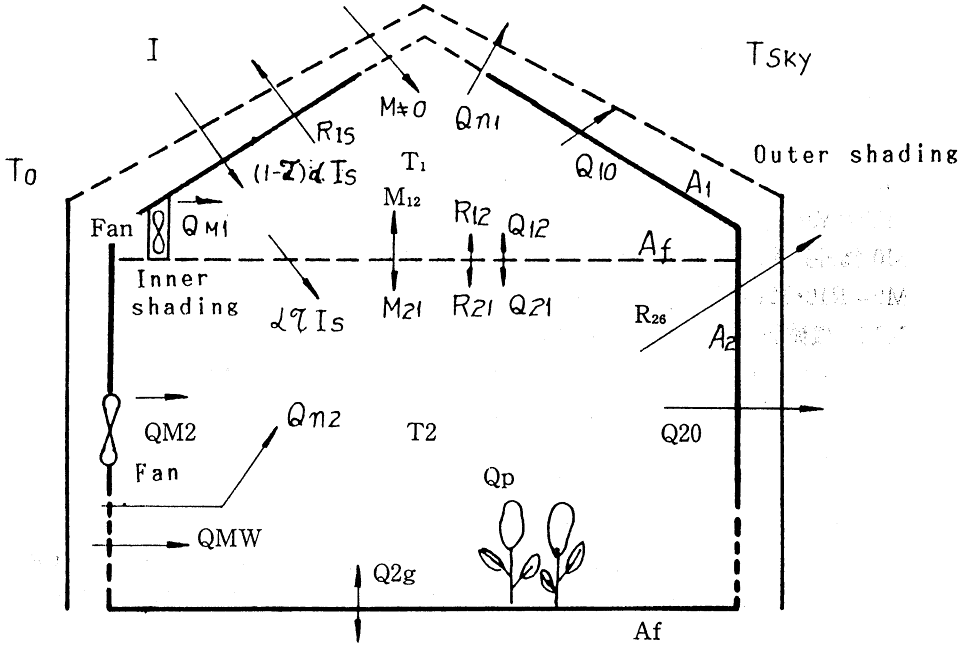


圖1. 含內遮蔭之溫室環境熱系統

Fig. 1. Thermal system of greenhouse with inner shading

一、溫室上層熱系統

此系統以註標(1)代表（如溫度爲T1），其熱能平衡如下：

(一)進入之能量有一項：

1. Qs1：因太陽日射能量所得熱能

$Qs1=(1-\tau i)\cdot\alpha\cdot Is$ ……(1)

Is：太陽能透過外遮蔭網之能量，Is等於τ。與 Io之乘積，

τo：爲外遮蔭網能量透過率，Io爲太陽輻射能（w/m²）。

溫室覆蓋材料之穿透率。

τi：內遮蔭網日射能穿透率。

(二)逸出之能量共八項：

1. Q10：因傳導與對流作用出外界之能量

$Q10=A1\cdot Uk1\cdot(T1-T0)$ ……(2)

A1爲上層溫室表面積（m²），Uk1爲溫室上層覆蓋材料熱傳係數（w/m²），T1 與 T0 各爲溫室上層溫度與外界溫度（°C）。

2. Q12：因對流與傳導作用流至底層之熱能

$Q12=Af\cdot U12\cdot(T1-T2)$ ……(3)

Af 爲遮蔭網面積，通常等於溫室地面面積

U12 爲遮蔭網熱傳係數（w/m²·k），T2 爲底層溫度（°C）。

3. QM1：因機械通風引起之熱能交換

$QM1=M1\cdot Cp\cdot(T1-T0)$ ……(4)

M1 爲機械通風時單位時間內流入溫室之空氣體積（m³/min），通常以溫室體積每分鐘交換率加以表示。Cp 爲空氣比熱值。

4. Qn1：因自然通風引起之熱能交換

$Qn1=Mn1\cdot Cp\cdot(T1-T2)$ ……(5)

Mnl 爲自然通風時底部流入之風量（m³/min）

5. M10：機構通風時，由太子樓頂或天窗開啓處流入之通風量熱能。

$M10=M0\cdot Cp\cdot(T1-T0)$ ……(6)

M0 爲外界流入空氣量（m³/min）通常 M0 之計算爲

$M0=R10\cdot M1$，R10 爲比例常數

6. M12：機械通風時因風壓作用自底部吸入之能量

$M12=M12\cdot Cp\cdot(T1-T2)$ ……(7)

M12 爲流入空氣量（m³/min），$M12=R12\cdot M1$，

R12 爲比例常數。

7. R1s：因長波熱輻射向天空逸出之輻射能

$R1s=\epsilon 1\cdot F1s\cdot\sigma\cdot Af\cdot(T^41k-T^4s)$ ……(8)

ε1爲溫室上層覆蓋材料長波熱傳率（Thermal Transmittance），F1s 爲溫室上層對天空的形狀係數（Shape Factors），σ爲波茲曼常數， T1k 與 Ts 爲上層溫度與天空溫度，單位爲°K。

8. R12：溫室上層對下層之長波熱輻射

$R12=\epsilon s\cdot F12\cdot\sigma\cdot Af\cdot(T^41k-T^42k)$ ……(9)

εs 爲遮蔭網長波熱傳率，F12 爲上層溫室對下層溫室之形係數。

依能量平衡原理，熱場系統流入總能量等於流出總能量，因此對溫室上層系統而言。

$Qs1=Q10+Q12+QM1+Qn1+M10+M12+R12+R12$ ……(10)

二、溫室下層熱系統

此系統以註標(2)代表，以下各公式之參數其意義可參考公式（1～9）

(一)進入此系統之能量共一項

1. Qs2：太陽日射能透過內遮蔭網至地面之能量

$Qs2=\tau i\cdot\alpha\cdot Is$ ……(11)

(二)流出此系統之能量共十項

1. Q20：因熱傳導與對流逸出外界之能量

Q20：$A2\cdot Uk2\cdot(T2-T0)$ ……(12)

2. Q21：因熱傳遞使熱能傳送至上層

$Q21=Af\cdot U12\cdot(T2-T1)$ ……(13)

3. QM2：因機械通風引起之熱能交換

$QM2=M2\cdot(T2-Te)$ ……(14)

M2 爲機械通風外界流入底層之風量，Te 爲有效冷風溫度，在無水牆，噴霧設備時 Te=Td。

4. Qn2：自然通風引起之熱能交換

$Qn2=Mn2\cdot Cp\cdot(T2-T0)$ ……(15)

5. M21：機械通風時因風壓作用自上層吸入之熱量。

$M21=M21\cdot Cp\cdot(T1-T2)$ ……(16)

M21 爲上層吸入之風量（m^3/min）

6. Mw2：因外界風力對自然通風效應引起之熱能交換。

$Mw2=Rw\cdot V\cdot Aw\cdot Cp\cdot(T2-T0)$ ……(17)

Rw 爲風力係數，V 爲風速（m/min），Aw 爲底部開口面積。

7. R2s：底層對天空之長波熱輻射

$R2s=\epsilon 2\cdot F_{2-s}\cdot\sigma\cdot Af\cdot(T^4 2k-T^4 sk)$ ……(18)

ϵ2爲底層材料的長波熱傳率，F2s 爲底層對天空的形狀係數。

8. R21：溫室底層對上層之長波熱輻射

$R21=\epsilon s\cdot F21\cdot\sigma\cdot Af\cdot(T^4 2k-T^4 1k)$ ……(19)

9. Qg：底層對地面之熱能交換

$Qg=Af\cdot GE$ ……(20)

GE 爲地面熱傳常數（w/m^2），GE 值與日照量之關係已有詳細討論（陳等，1992a, 1992b）。

10. Qp：下層溫室植物之熱能交換

$Qp=0.5\cdot PF\cdot Qs2$ ……(21)

PF：植物所占溫室地面面積。

依能量平衡原理，溫室下層系統之熱平衡：

$Qs2=Q20+Q21+Qn2+Qn2+M21+Mw2+R2s+R21+R2s+R12$ ……(22)

由公式(10)與公式(22)兩方程式可知此爲兩方程式而解二未知數（T1，T2）之計算方式。

三、自然通風之風量計算

自然通風效應包括溫室內外溫差效應與風力效應，兩者效應皆存在時，溫差效應之風量$\dot{M}n$ 與風力效應風量 $\dot{M}w$ 之綜合效應 $\dot{M}p$ 可計算如下：

$\dot{M}p=(\dot{M}^2 n+\dot{M}^2 w)^{0.5}$ ……(23)

溫差效應之風量計算需考慮溫室自身條件：長度，屋頂開口寬度，側面開口高度…等），更涉及溫室內外溫度差，然而爲溫室內部溫度本身爲未知數，因此在陳氏之研究（1992a）以迭替法（Iter-

ative technique）求解。

此研究中，溫室內部溫度之計算包括上下層兩種溫度，爲簡化計算程序假定條件如下：

1. 因自然通風效應引起之風量，自外界流入底層之風量（Mn2）與自底層流入上層之風量（Mn1）兩者相等。
2. 計算通風量時，溫室內部的平均溫度（Tave）與外界溫度（T0）之差異值用以計算通風量，Tave 值之計算式爲：

$$Tave=\frac{M1\cdot T1+M2\cdot T2}{M1+M2} \quad \cdots\cdots (24)$$

M1 與 M2 爲溫室上下層之空氣質量，因 T1， T2 之差異有限，可假設其空氣密度相等，由公式(24)可改爲：

$$Tave=\frac{V1\cdot T1+V2\cdot T2}{V1+V2} \quad \cdots\cdots (25)$$

V1 與 V2 爲溫室上下層體積。

3. 由溫室結構條件可計算中立面高度 $\bar{h}$ 值，再由外界溫度 To 與 Tave 之差值計算有效通風量，此計算步驟詳見陳氏等研究（1992a）。
4. 在有用遮蔭網時，假設遮蔭網對空氣流通之影響爲比例常數值 RT，計算所得風量爲 $\dot{M}n$，則實際自然通風量，$\dot{M}n1=\dot{M}n2=RT\cdot\dot{M}n$ $\cdots\cdots$(26)

四、長波熱輻射之形狀係數

長波熱輻射之能量計算中形狀係數十分重要。含內遮蔭網之溫室形狀係數示意圖如圖二。

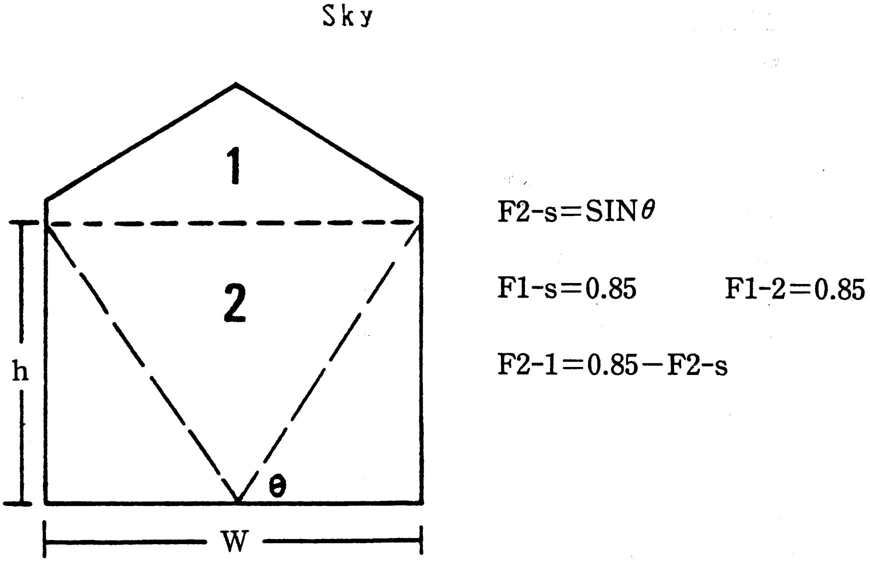


圖2. 溫室具內遮蔭設備之形狀係數

Fig. 2. The shape factors for greenhouse with inner shading

由 Walker 等人研究（1983）可知：

F1-s=0.85

F1-2=0.15

F2-s 值可由下列公式加以計算（Oliveira and Esmay, 1981）

$$F2\text{-}s = Si\ N\theta \qquad (27)$$

$$\theta = \tan^{-1}\frac{2h1}{W} \qquad (28)$$

h1 爲內遮蔭網高度，W 爲溫室寬度。

$$F_{2-1} = 0.85 = F_{2-2} \qquad (29)$$

五、天空溫度（Ts）

長波熱輻射中天空溫度 Ts 與大氣溫度 Td 不同，其計算公式爲

(Walker et al. 1983)

$$Tsk = 0.914 \cdot Tdk \qquad (30)$$

六、環境模式之解析

爲預測內遮蔭設備對溫室內上下層溫度之影響，利用公式(10)與(22)求算 T1 與 T2 值，因此計算方式涉及 Ti 乘冪項次與迭替法，故以 BASIC 語言撰寫程式軟體「TARI2」，以交談式運作方式輸入溫室各參數值，並以三副程式輔助此運算，主要之副程式依其內容介紹如下：

(一)Tw Subroutine

自大氣乾球溫度與相對濕度值計算濕球溫度值，並用以計算有效冷卻溫度 Te 值。

(二)h Subroution

用以決定自然通風時，其中立平面高度 $\bar{h}$ 值，此數值被用以計算自然通風之有效通風量。

(三) Ti Subroutine

用以程式之運算可分爲四種：一. 溫室效應，無通風狀態；2. 自然通風；3. 機械通風，無冷卻設備；4. 機械通風，有冷卻設備，其運算流程圖如圖三。

模式執行時，首先輸入溫室自身參數值與大氣參數值，再判定作業狀況後，分別執行運算，以無通風狀態之溫室效應爲例：在程式中已預設 T1′=50°C，T2′=20°C。

(1)首先以公式(10)與T2′=20°C之數值依副程式 Ti Subroutine 中數值分析Bi-Section 法求得 T1 值。

(2)再以新的 T1 值與公式(22)求算 T2 值。

(3)比較（T1−T1′）與（T2−T2′）絕對值是否皆小於0.1成收斂性。

(4)若未收斂則更新 T1′，T2′ 值重新執行至收斂。在實際運作時，通常3～4次即可滿足收斂要求。

在自然通風作業時，(1)首先預設之 T1′，T2′ 值計算Tave 與 DT 值，(2)由 DT 值求算自然通風量 Mn 值，(3)以 T2′，公式(10)求得T1 值，(4)以 T1 值，公式(22)求 T2 值，(5)判斷收斂性，未收斂時重新執行步驟(1)計算 Tave，DT 值至收斂爲止。

材料與方法

一、驗證用溫室

此研究用以關察驗證遮蔭對溫室模式之影響所用溫室有兩型，其結構示意圖如圖四。

1. 山型溫室（Geble-roof Grenhouse）

此型溫室覆蓋材料爲 PVC，具有兩側捲起裝置，周壁不具遮蟲紗網。屋頂爲太子樓頂，可執行自然通風。機械通風作業設備具有大小風扇設備。

內外遮蔭各爲50％遮蔭率之遮蔭網，外遮蔭網與屋頂平行，太子樓頂亦有遮蔭網以求遮蔭網一致。地面除盆栽植物外鋪設碎石，植物面積佔地面面積約40％。

2. 圓弧屋頂型溫室（Semi-circular roof Plastic Greenhouse）

此型溫室亦爲 PVC 溫室，具有手動之兩側捲起裝置，周壁裝設紗網，屋頂爲圓弧密閉式。在機械通風方面乃以小風扇運作。內外遮蔭利用50%遮蔭率之遮蔭網，外遮蔭網與地面平行，內遮蔭網離地面約2.35m。

有噴霧裝置於內遮蔭網下方。植物爲觀賞作物，以盆栽置於植床之上栽植面積佔地面面積約66%。

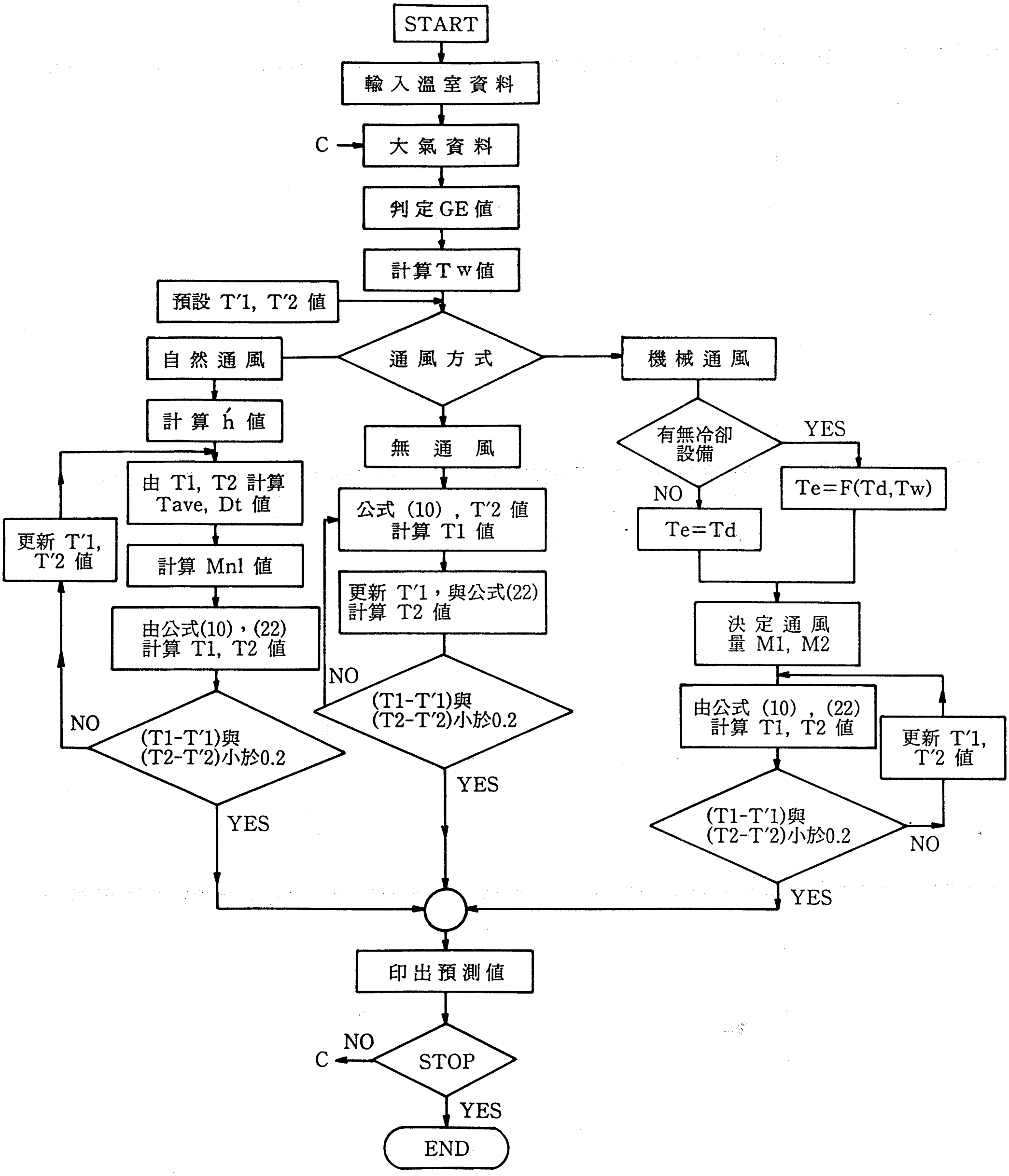


圖 3. TARI2 程式計算流程圖

Fig. 3 Flow charts of TARI2 program

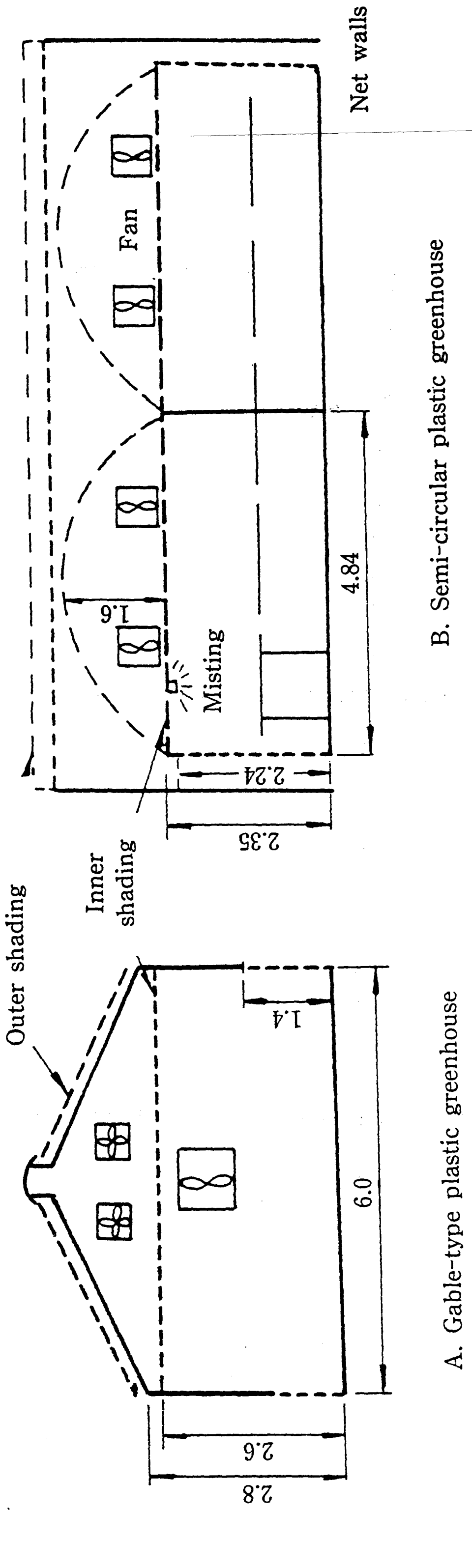


圖 4． 兩型溫室示意圖

Fig. 4 Diagram of two types greenhouse

二、微氣候量測設備

此研究中量測之氣候因子包括大氣日射能，溫度與相對濕度，溫室上，下層溫度，濕度與溫室內部日射能量。量測所用儀器中溫度與濕度之量測感測器與記錄器與陳氏等研究（1992b）相同，日照能量之量測則利用國產 INS-TARI 型日照計，其性能與校正方式已有討論（陳，1992）。溫濕度感測器其放置位置位於溫室中間高約1.3m。

三、參數數值之選擇

此研究中環境模式之各參數值其選擇除參考文獻所列數值，並配合現地校正方法(陳等，1992b)。

四、模式驗證

模式合理性的驗證有兩項：證實性（Verification）與有效性（Validation）。前者主要為定性的概念，代表模式之預測結果合乎學理之邏輯，後者指量化的數據必須包括不同時間，不同地區之預測比較，以避免模式的建立僅為數組數據之自我歸納分析結果，因此此研究將參數校正用數據證用數據與數據彼此獨立，其驗證方式已在已知文獻上有詳細介紹（陳等，1992 b）。

結果與討論

一、參數選擇值

兩型溫室之模式參數值如表一所示。

表1. 溫室環境模式之參數值

Table 1. Constant Parameters for greenhouse envitonment model

符號	說明	山型溫室	圓弧型溫室	單位
A1	溫室上層面積	94.2	117.1	m²
A2	溫室下層面積	93.6	111.2	m²
AF	溫室底面積	72.0	146.7	m²
V1	上層體積	61.2	170.0	m^3
V2	下層體積	187.2	328.5	m^3
Do	兩側開啓高度	1.3	2.4	m
W	溫室全寬	6.0	9.7	m
L	溫室全長	12.0	15.2	m
UK_1	上層覆蓋物熱傳係數	6.1	6.8	W/m²·C
UK_2	下層覆蓋物熱傳係數	6.3	30（紗網）	W/m²·C
GE_1	溫度底層對土壤放熱流量	25	10	W/m²
GE_2	溫度底層對土壤吸熱流量	−10	−5	W/m²
α	覆蓋物日照能穿透率	0.42	0.45	
τi	內遮陰網穿透率	0.5	0.5	
PF	植物占溫室面積比率	0.4	0.66	
U12	內遮陰網熱傳係數	0.2	0.2	W/m²
RT	內遮陰網通過氣流之比率	0.4	0.66	
R10	空氣流入上層之比例值	0.1	0.2	
R12	空氣於上下層之交換比例值	0.1	0.5	
F1S	上層對天空狀係數	0.85	0.85	
F12	上層對下層狀係數	0.15	0.15	
F2S	下層對天空狀係數	0.39	0.47	
F21	下層對上層空狀係數	0.32	0.38	

二、遮蔭之環控效果與模式預測能力。

(一)山型溫室

此種山型溫室之特色為其開放型，除了具有太子樓頂之開口以為自然通風之通風口，在兩側塑膠布完全放下後，其結構設計使其塑膠布並未貼緊地面，仍保留7cm之空隙，使溫室內部得以產生溫度之自然通風效應。在兩側完全上揚時，兩側捲起有效高度為1.3m，使得自然通風之有效風量更為增加。超過1.3公尺之揚起高度並不能顯著增加通風量，兩側高度與溫室內外溫度差所產生通風量其計算公式於陳氏等人（1992）已有研究。

不同環控設備之作業效果與預測模式之比較如圖5a—5d，在日照能增加時 GE 值為25W/

m² 日照能減少時，GE 值爲－15w/m²。

圖5a 表示兩側塑膠布放下（離地約0.07m），有外遮蔭時，溫室上下層之溫度分佈狀況，大氣溫度與日照能量對溫室內溫度的影響由圖可知，底層的溫度約高於大氣溫度3°C，上層溫度約高於大氣溫度6～7°C。下層溫度並未有顯著的效應，其原因在於內外遮蔭使進入之日照能量大爲減少，有效的自然通風減少了累積。

模式的預測曲線示其分佈曲線接近實際的狀況，在早上11：30之前，預測能力十分良好，誤差值均在1°C之內。

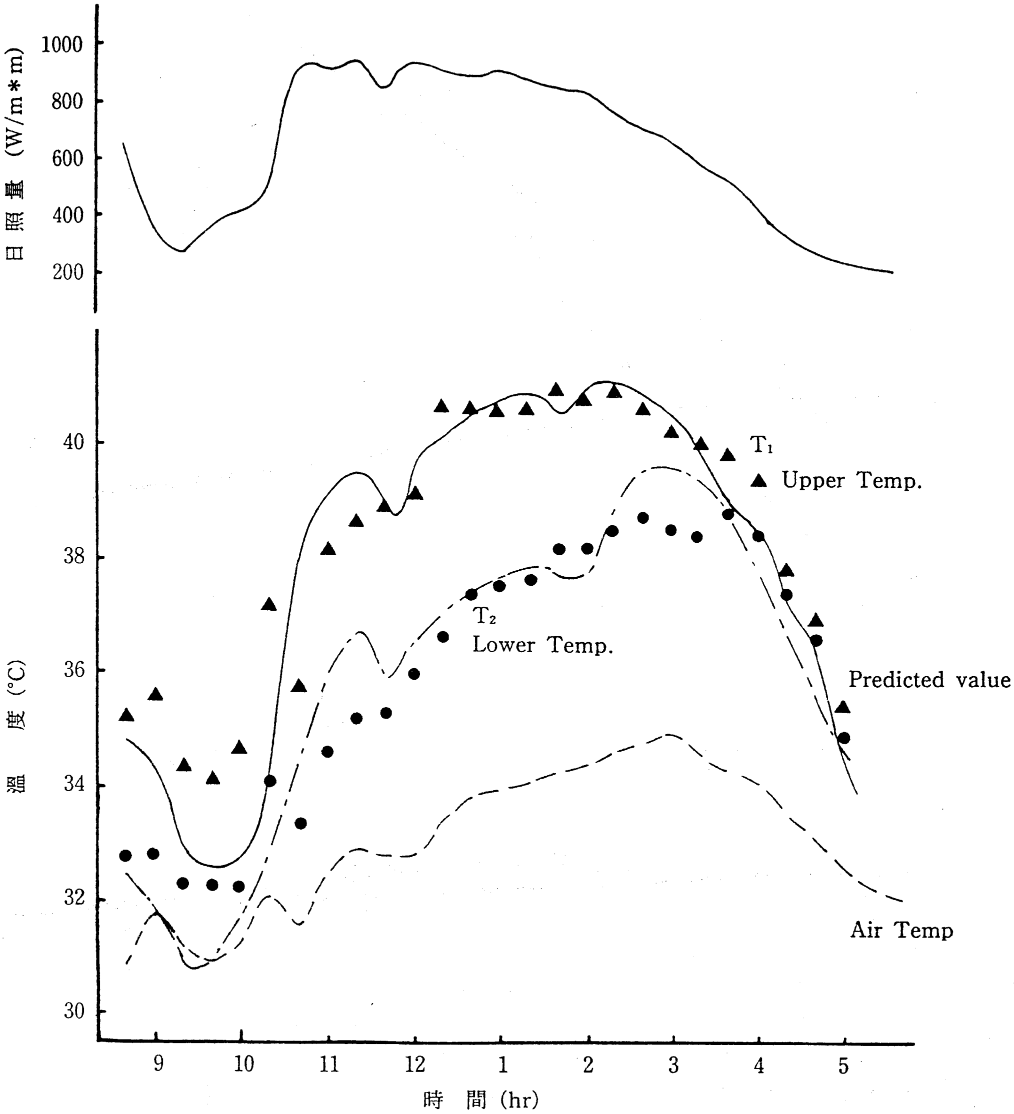


圖5. 山型溫室環境模式驗證（兩側放下，內外遮蔭）

Fig. 5a Verfication of environment model for gable-roof greenhouse (Side closed, inner and outer shading)

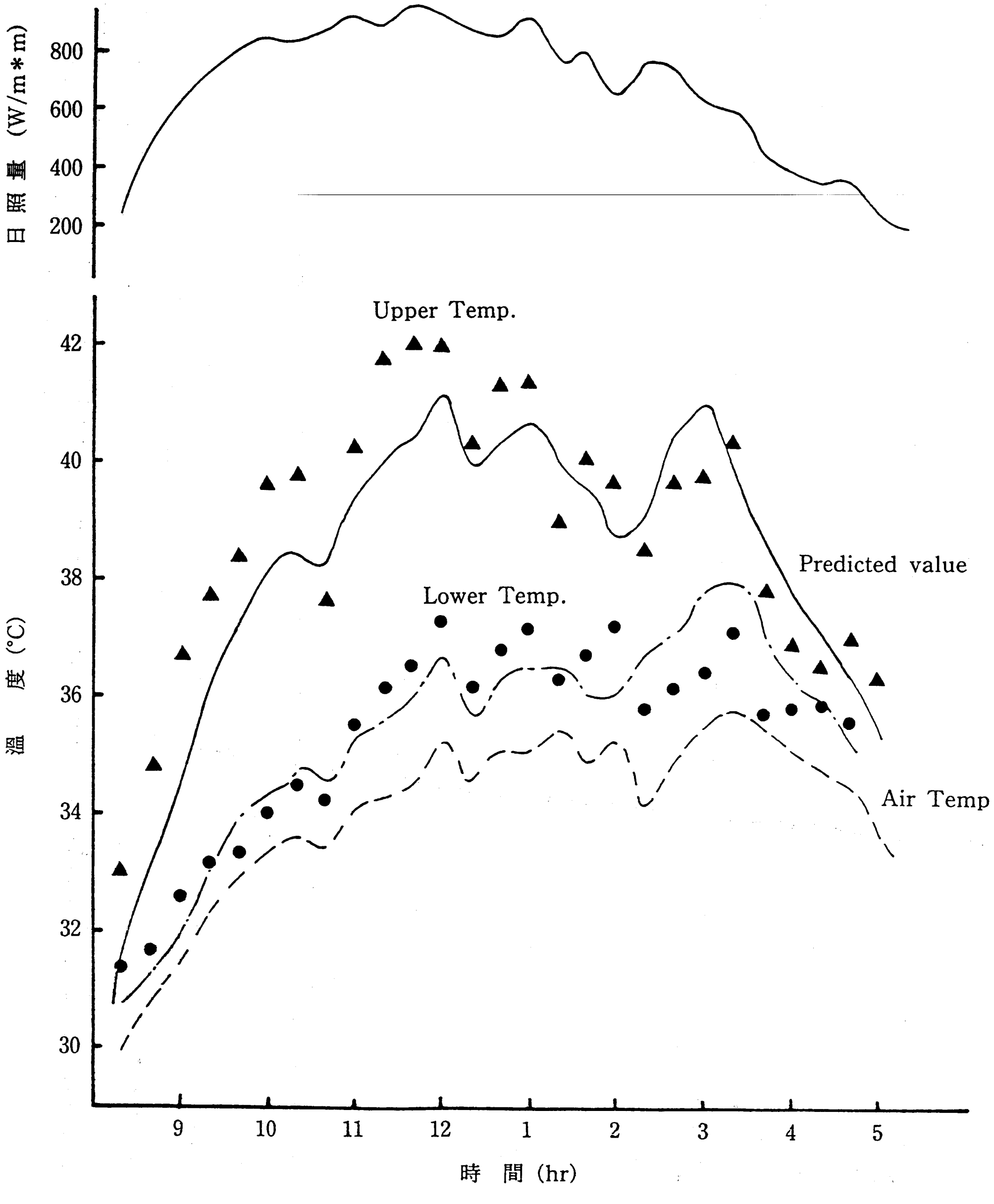


圖5b. 山型溫室環境模式驗證（兩側打開，內遮蔭）

Fig. 5bVerfication of environment model for gable-roof greenhouse (Side opened, inner shading)

溫室兩側捲起1.3m，無外遮蔭僅利用內遮蔭時，內遮蔭網上下層的溫度分佈如圖5b。下層的溫度比大氣溫度約1.5°C，上層溫度則高於外界溫度4～6°C。與圖5a 比較，其原因在於兩側捲高度的增加，提高了自然風量，使得熱累積效應減少。因溫室高度爲2.8m，兩側捲起時有1.3m 之高度無塑膠布隔絕溫室內外側，因此開啓空間應與外界溫度相同，底層之實際預測溫度爲原預測溫度與大氣溫度之平均值。模式的預測曲線與實際量測值的比較中，上層溫度預測誤差值約1.5～2°C，下層溫度的預測誤差約1°C。溫室兩側捲起1.3m，有內外遮蔭網，溫室上層的風扇運作狀況下，上下層的溫度的分佈如圖5c，（圖5與圖6符號代表意義皆相同）。因風扇使外界空氣流入上層空間，上層溫度高於大氣溫度約3°C，而下層溫度則高於氣溫約1°C，顯示此種開放型溫室之上層風扇作業對下層溫度之影響

並不大。上層溫度預測值與實際值之誤差約1.5°C，下層溫度之模式預測誤約為1°C左右。由日照量之分佈曲線可知，在下午1時因雲層遮蔭使日照量顯著降低，模式對此日照迅速變化之影響能夠加以反映。

溫室兩側放下，有內外遮蔭，溫室上下層皆有機械通風時，其溫度分佈如圖5d，上層溫度高於氣溫3°C左右，下層溫度在中午12：00後接近上層溫度，而在下午2：00之後因地面蓄熱流入下層空間，底層溫度反而高於上層溫度，模式曲線的預測十分良好。

比較圖5c 與5d 之結果可知，對具有太子樓頂之溫室，將溫室底層密閉而加以機械通風之降溫性能，利用機械通風反而增加能源之耗費，國內玻璃溫室之利用通常以密閉狀況為主，再以風扇強制通風，在能源利用之不合理性由此可加以印證。

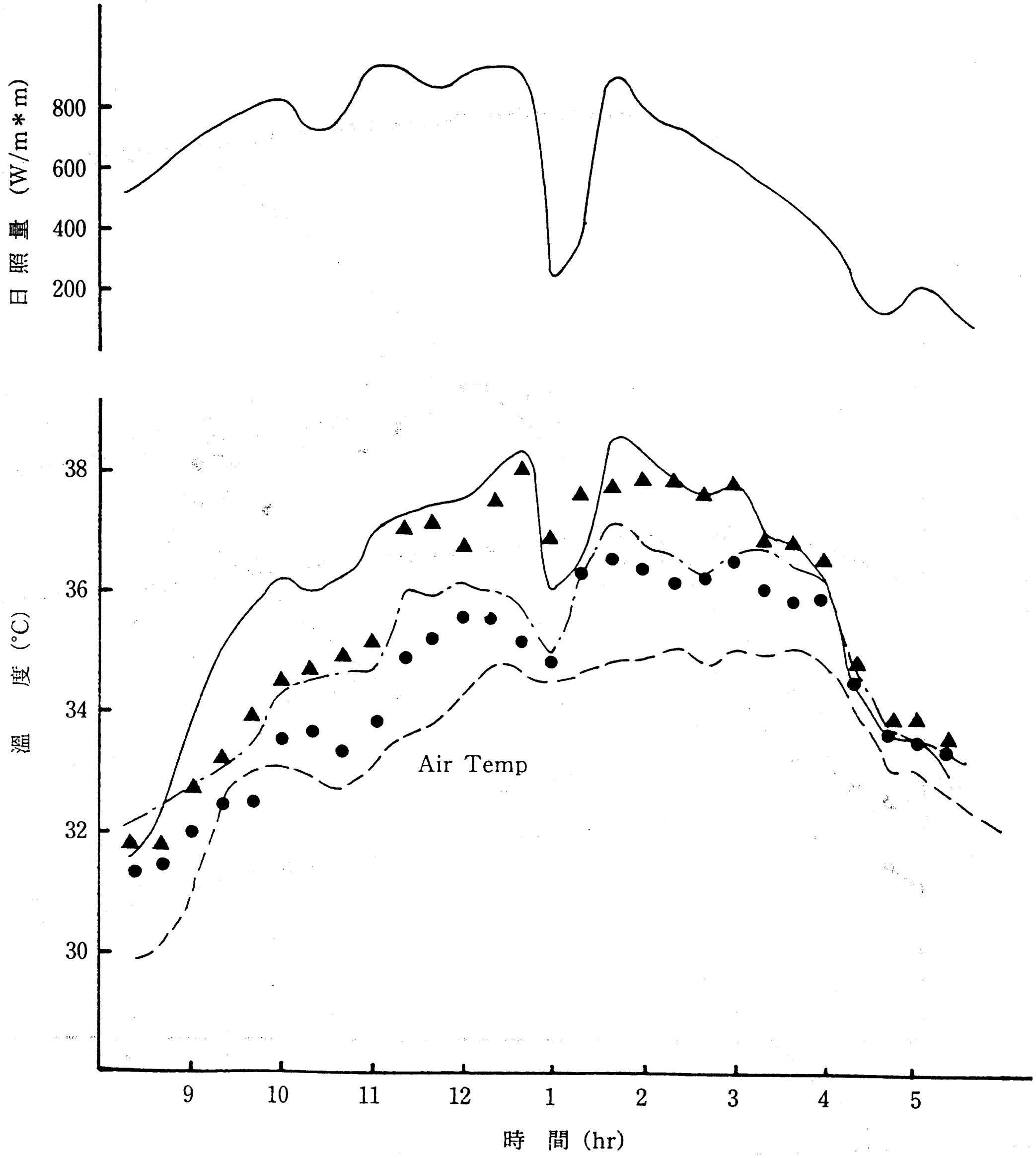
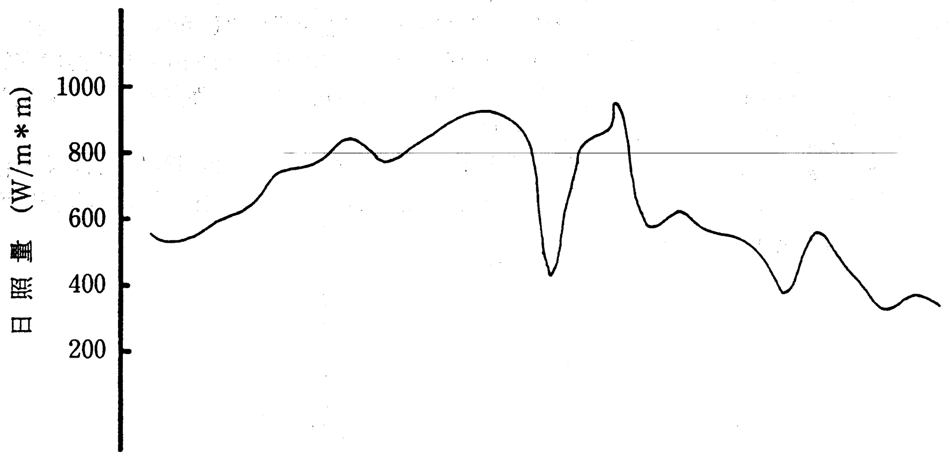


圖5c. 山型溫室環境模式驗證（內外遮蔭，上風扇作業）

Fig. 5c Verfication of environment model for gable-roof greenhouse (Inner and outer shading, upper fan operating)



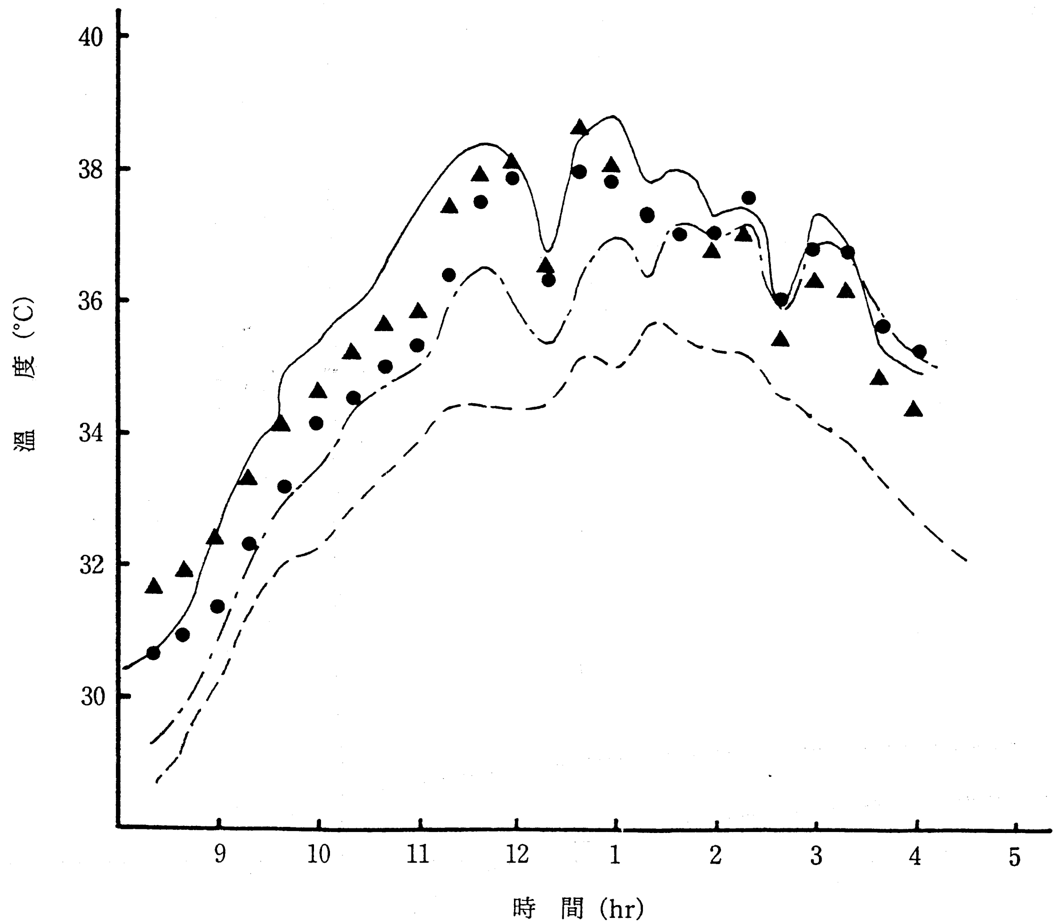


圖5d. 山型溫室環境模式驗證（內外遮蔭，上下風扇作業）

Fig. 5d. Verfication of environment model for gable-roof greenhouse (Inner and outer shading, All fan operating)

(二)圓弧屋頂型溫室

此型溫室之屋頂爲密閉圓弧型，無法執行自然通風，兩側爲固定紗網，高度爲2.35cm，兩側捲起設備在此實驗中並未放下，因此爲一種無自然通風，底層開放型溫室。兩側之紗網其熱傳係數經參數評估結果約爲30w/m²。另一特色在於其固定噴霧設備。上層進行通風作業時，下層流入上層之風量約上層通風量之二分之一值。

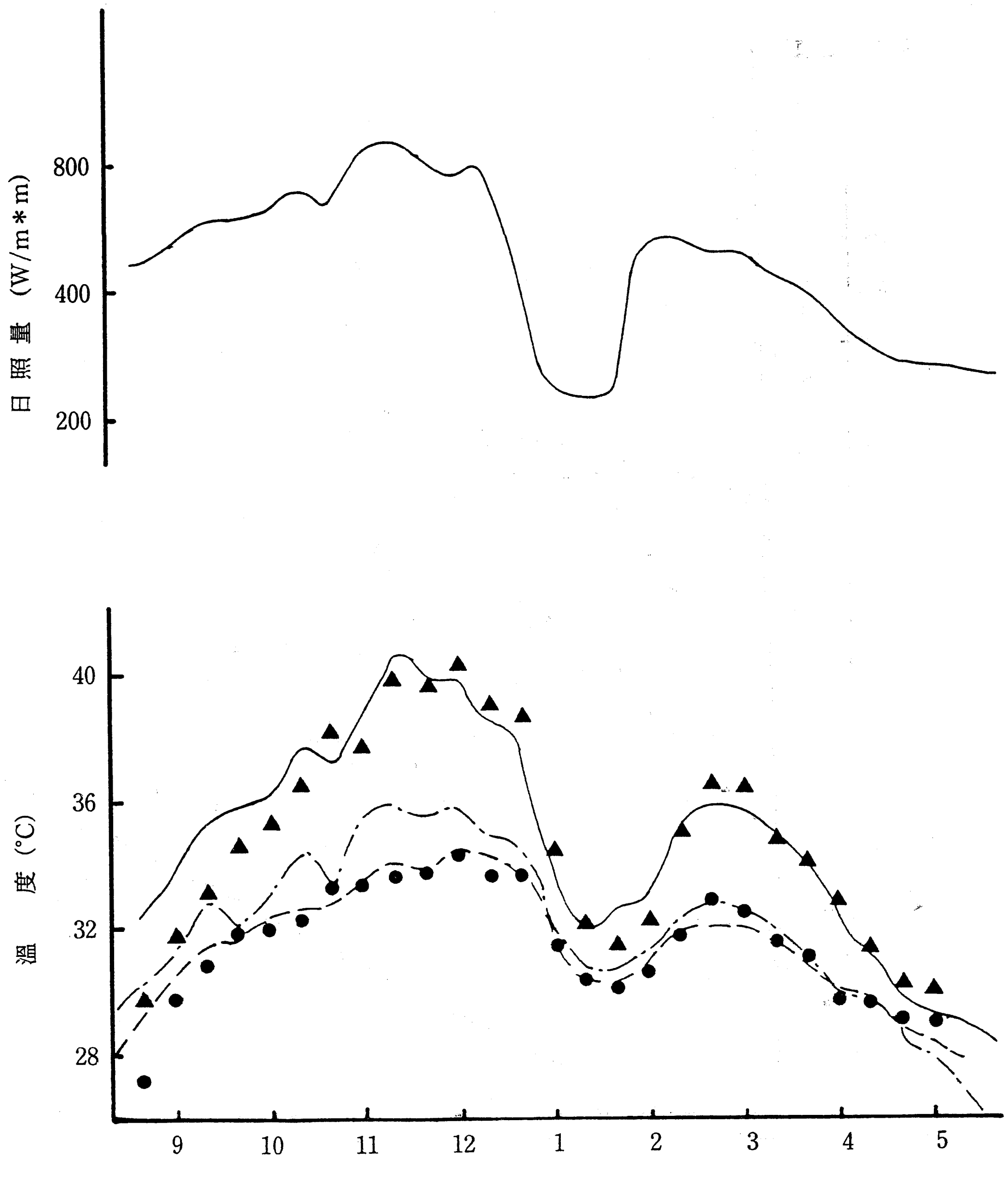


圖6a. 圓弧屋頂溫室環境模式驗證（內遮蔭）

Fig. 6a. Verfication of environment model for semi-circular roof greenhouse (Inner shading)

在僅有內遮蔭裝置，上層進行機械通風時，此溫室上下層溫度分佈如圖6a，上層的溫度高於氣溫約4～6°C，模式預測值與實際量測值誤差約1～1.5°C，下層溫度與外界氣溫近乎相等，而模式之預測值則有高估現象，最大誤差於11：00～12：30之間約2°C，而其他範圍之誤差值約1°C。在下午1：00～2：00時日照量急劇減少，模式對此現象之反映良好。

在具有上下遮蔭，且上層執行機械通風時，其環控性能圖示於圖6b。上層溫度高於外界氣溫約3～4°C，下層溫度在外界日照能量較低（小於600w/m²）之時期，可略低於大氣溫度，此原因可解釋如下：

(1)下層空間之植物吸收部份太陽能量。

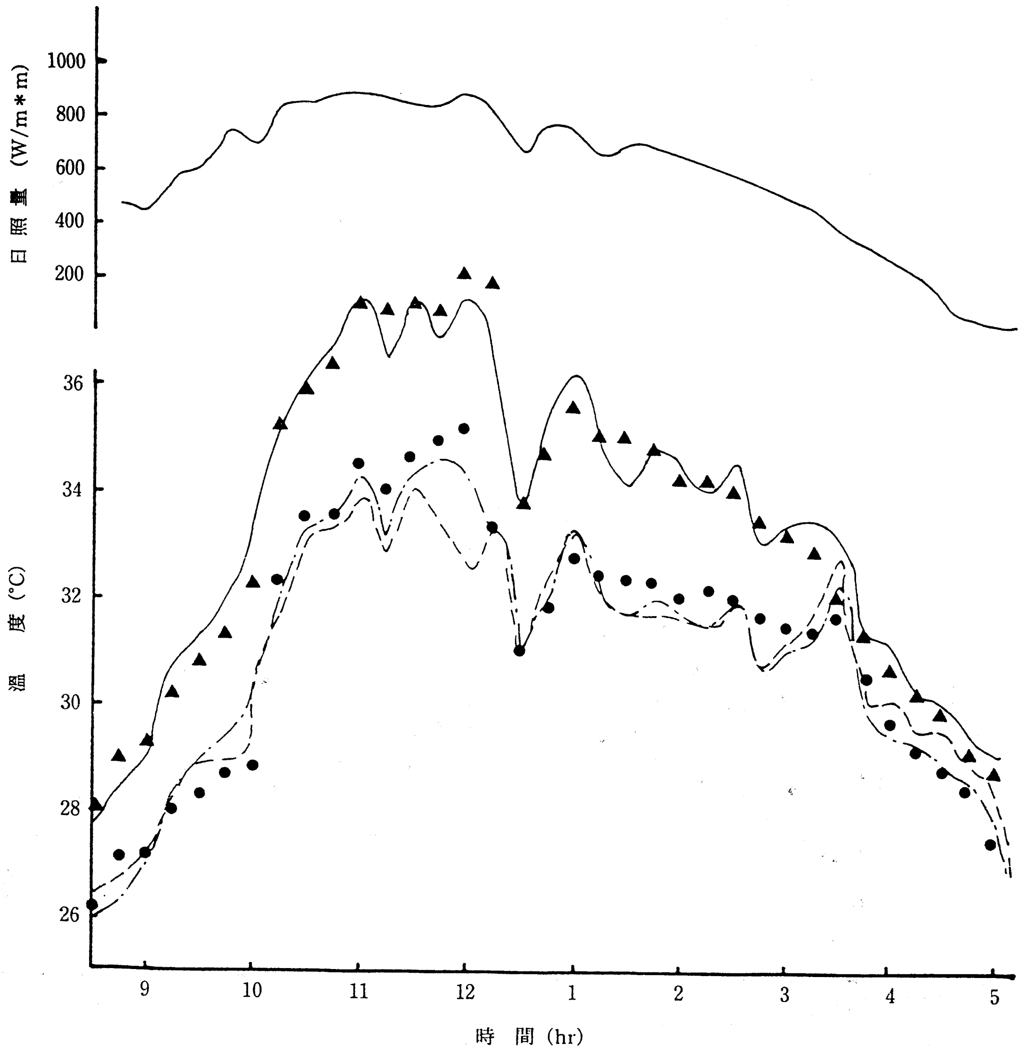


圖6b. 圓弧屋頂溫室環境模式驗證（風扇作業）

Fig. 6b. Verfication of environment model for semi-circular roof greenhouse (Fan operating)

(2)上層抽氣使底層空間最高溫（接近內遮蔭網）處熱累積透過遮蔭網間隙被抽離。

(3)溫室內部以長波形式向外界放射輻射能。在模式預測能力的比較中，上下層溫度之其預測誤差於1～1.5℃之範圍。

在圖6c 中日照能量曲線的起伏波折很大，此現象亦出現在溫室上下層溫度與大氣溫度的量測值分佈，對模式的預測能力而言，其預測誤差值最高約2.5℃，而在下午3：00之後，上層溫度預測值與測值符合性良。

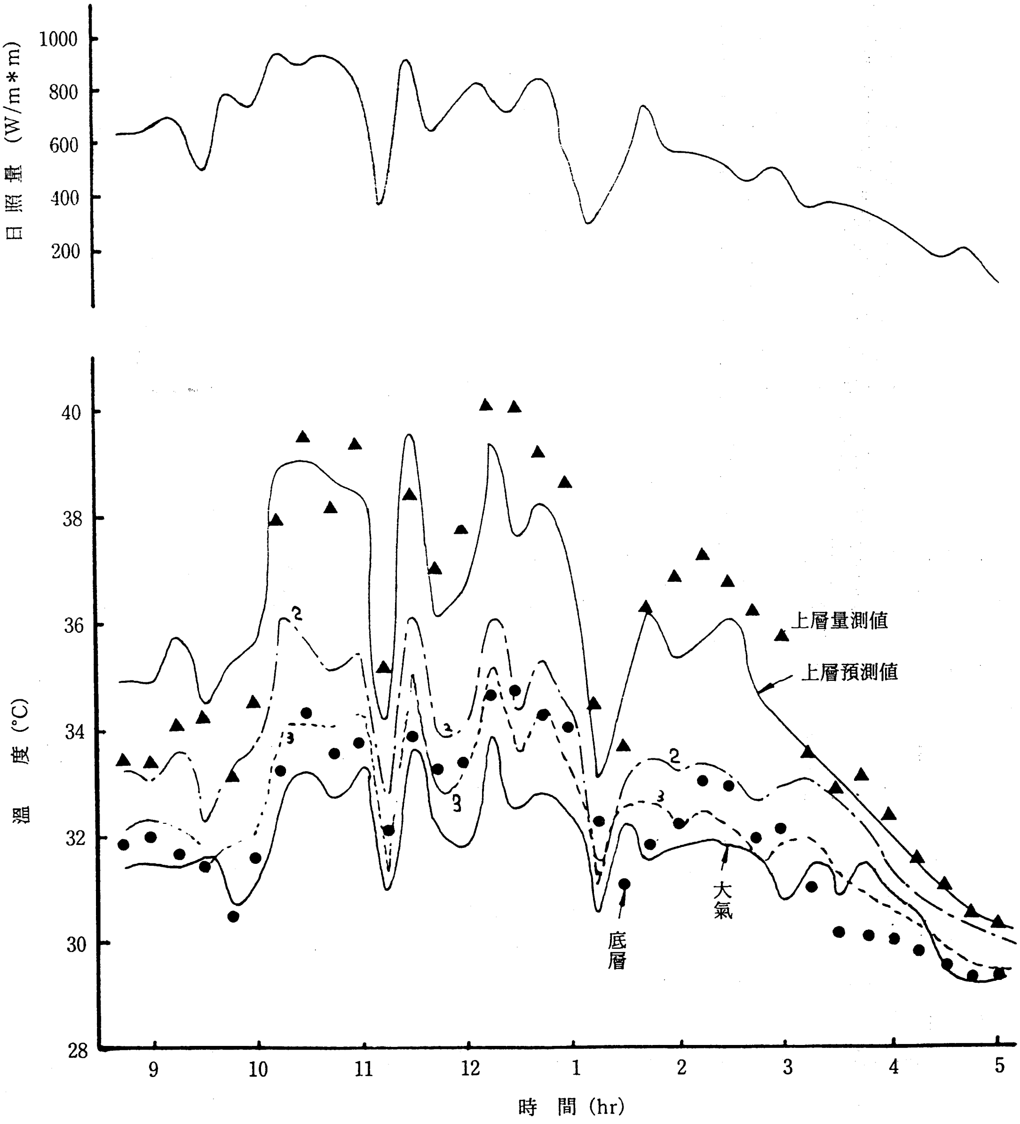


圖6c. 圓弧屋頂溫室環境模式驗證（噴霧）

Fig. 6c. Verfication of environment model for semi-circular roof greenhouse (Misting)

此型溫室噴霧設備安置於內遮蔭網下方，其降溫示意圖如圖7，在具有上層通風作業時，上層空氣的流動對下層空氣產生吸力，使下層空氣通過內遮蔭至上層空間，流動空氣與噴出霧粒混合產生蒸發冷卻效應（Evaporative cooling Effect）此霧化空氣取代原空間靜置部份空氣，產生降溫效果，而在上層未機械通風時，此噴霧作業僅能藉由自然風力進行降溫作用，無風力作用時，噴霧之環控能力不良。

在進行參數選擇中，噴霧作業之有效蒸發效率約50%，因此外界空氣進入溫室下層與霧粒混合之有效溫度 Te 值可由下式計算：

$Te=Td-(1-e)\times(Ed-Tw)$ ，有效蒸發效率e＝0.5

$$Te=(Td+Tw)/2 \qquad (23)$$

Tw爲大氣濕球溫度。

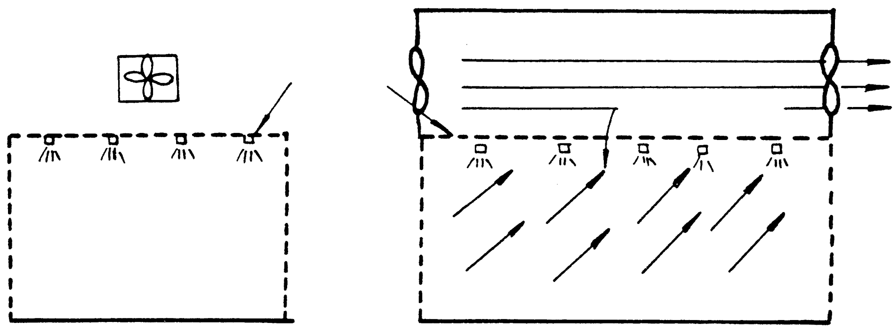


圖7. 固定噴霧裝置降溫作業

Fig. 7. Diagram of the cooling effect for fixed misting device

在模式預測中，上層通風與下層噴霧同時作業時，若下層空間外界氣流進入之有效溫度爲 Td 值時，預測曲線（圖6c 之曲線2）都有高估現象，而以 Te 值爲有效溫度時，預測曲線（曲線3）則十分符合。

三、內外遮蔭對溫室環控能力之探討。

(1)山型溫室：

由於模式 TARI2 良好之符合性，因此以敏感度分析方式研究內外遮蔭，配合其他環控設備對環控性能之影響，模擬之大氣狀況爲一典型夏日氣候，其溫度與日射量如圖8a 所示。

1. 溫室效應

在無外遮蔭，因內遮蔭的影響產生溫室效應，其性能曲線如圖8a 之曲線1（上層溫度）與曲線2（下層溫度）。上層溫度高於外界氣溫有18°C，下層溫度高於大氣溫度約14°C，在氣密性良好的荷蘭型溫室在不考慮間隙的通風量時，其溫室效應更爲顯者，因此可知在無通風狀態，裝置內遮蔭裝置對降溫性能並無補助。

2. 自然通風

以兩側打開並利用既有太子樓頂之出口進行自然通風作業，在無遮蔭狀態下，上下層溫度如圖8a 之曲線3（上層），4（下層）所示，因自然通風效應使熱氣升至上層，因此上下層的溫差較大，爲4～6°C左右，下層的溫度則高於外界氣溫約4～7°C，已顯著地降低溫室效應。

3. 內外遮蔭

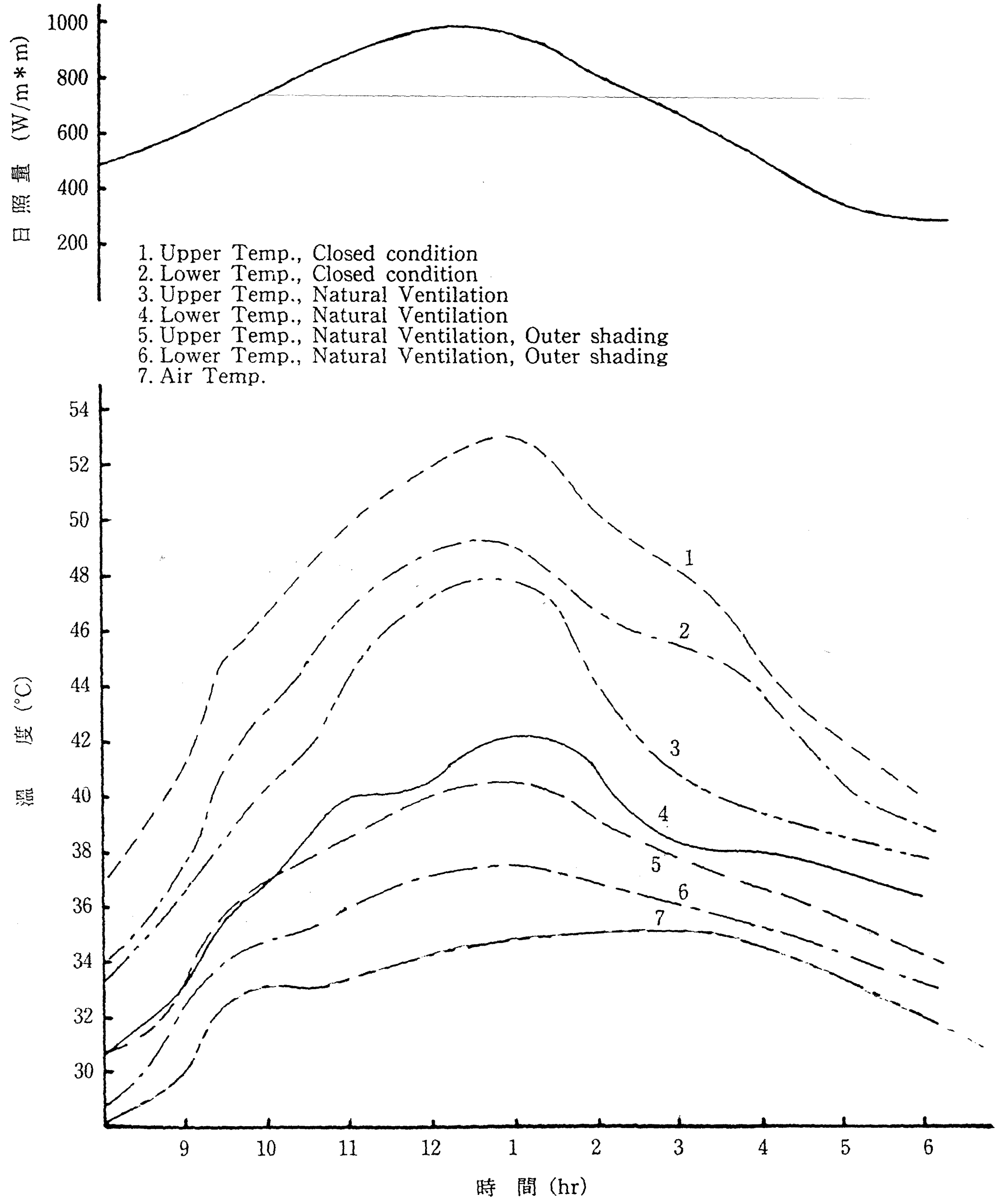


圖8a. 山型溫室模式敏感性分析：遮蔭與通風效果

Fig. 8a. The model sensitivity analysis of gable roof greenhouse(Shading and ventilation effect)

溫室內外的遮蔭網皆使用時，日照能量到達地面的比例大爲減少，溫室上下層溫度之曲線分佈如圖8a 之曲線5（上層），6（下層）。下層溫度僅高於氣溫約2%，由此可知遮蔭與通風兩者同時作用方可有效地避免熱累積。

在只有內遮蔭與只利用外遮蔭時，溫室內溫度分佈如圖 8b。在相同遮蔭網遮蔭率 50%之狀

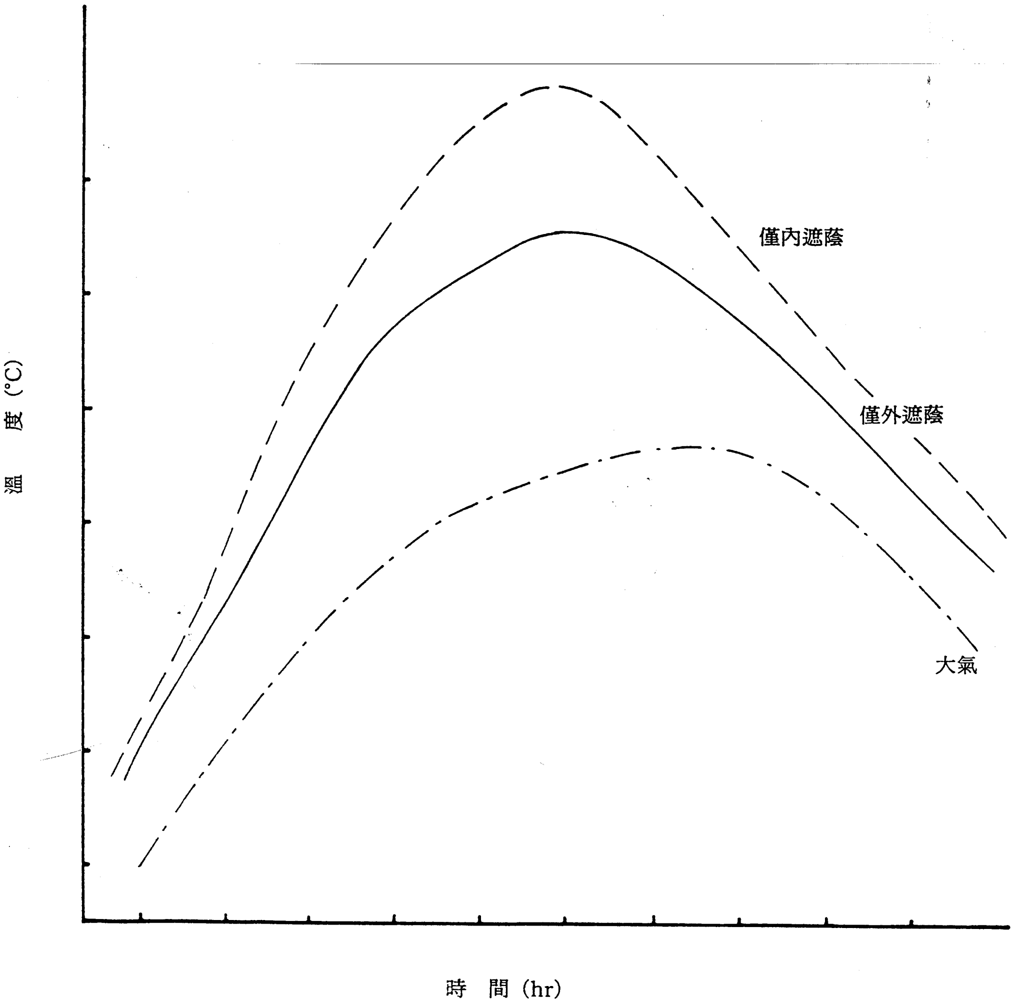


圖8b. 山型溫室模式敏感性分析：內外遮蔭效果比較

Fig. 8b. The model sensitivity analysis of gable roof greenhouse(Inner and outer shading effect)

況下，只利用內遮蔭之溫室底層溫度明顯地高於只利用外遮蔭時溫室溫度。後者係利用TARI1 程式模擬而成（陳等1992a.b）此結果可說明外遮蔭網之降溫效果優於內遮蔭網。

4. 機械通風

利用機械式通風設備對於有內遮蔭網溫室上下層溫度之影響因通風量之大小而改變，但其環控極限在於無法低於大氣溫（陳等，1992b）。在溫室兩側密閉僅有上層部份進行機械通風時，若其通風量爲每分鐘換氣量等於上層體積，其環控效果如圖8c。上層溫度因與外界交換作用，反而低於下層溫度，下層溫度之溫室效應十分顯著，此可說明具有內遮蔭之密閉性溫室，僅利用上層通風反而無降溫效果。

(二)圓弧屋頂型溫室

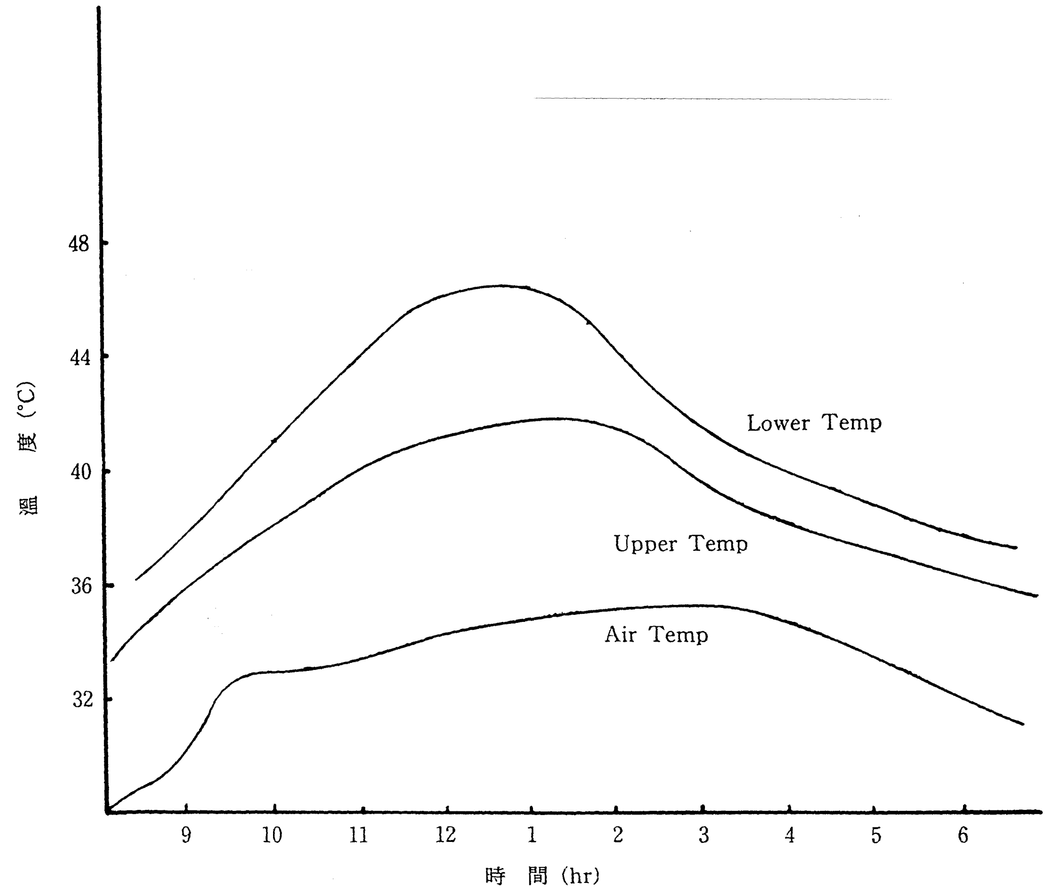


圖8c. 山型溫室模式敏感性分析：上層抽風效果

Fig. 8c. The model sensitivity analysis of gable roof greenhouse (Upper ventilation effect)

此型溫室通常利用的狀態爲兩側打開但另以紗網隔絕內外，於圓弧屋頂下安置固定內遮蔭網。比較外遮蔭有否作業時二種環控作業（上層不通風，上層通風，上層通風且下層噴霧）之底層溫度性能曲線如圖9，其模擬大氣條件同於圖8a。

在無外遮蔭（$\tau=0.4$），且上層風扇不作業時，底層溫度高於大氣溫度5°C（曲線1）在風扇開始作業可抽出部份累積熱時，底溫大於氣溫約3～3.5°C（曲線2）。而下層開始噴霧動作後，其降溫能力比無噴霧作業約略低於1～1.5°C（曲線3）。

在有外遮蔭時（$\tau=0.2$）底層溫度均顯著的降低，在上層通風時，底層溫度大於氣溫約1～1.5°C，而在開始噴霧動作後，底層溫度可低於大氣溫度（曲線6）。

由於噴霧作業已爲國內園藝業者普遍利用，有關此方面之研究有詳加執行的必要。

四、未來研究方向：

上述研究結果顯示，此內外遮蔭研究之環境模式，「TARI2」，能夠合理且準確的描述預測遮蔭設備對於溫室內溫度影響，然而針對國內開放型溫室之環境模式仍有深入研究之必要。

(一)開放型溫室兩旁紗網之熱傳性質，包括在靜止無風時熱傳係數與有風壓存在時風阻性質性質係

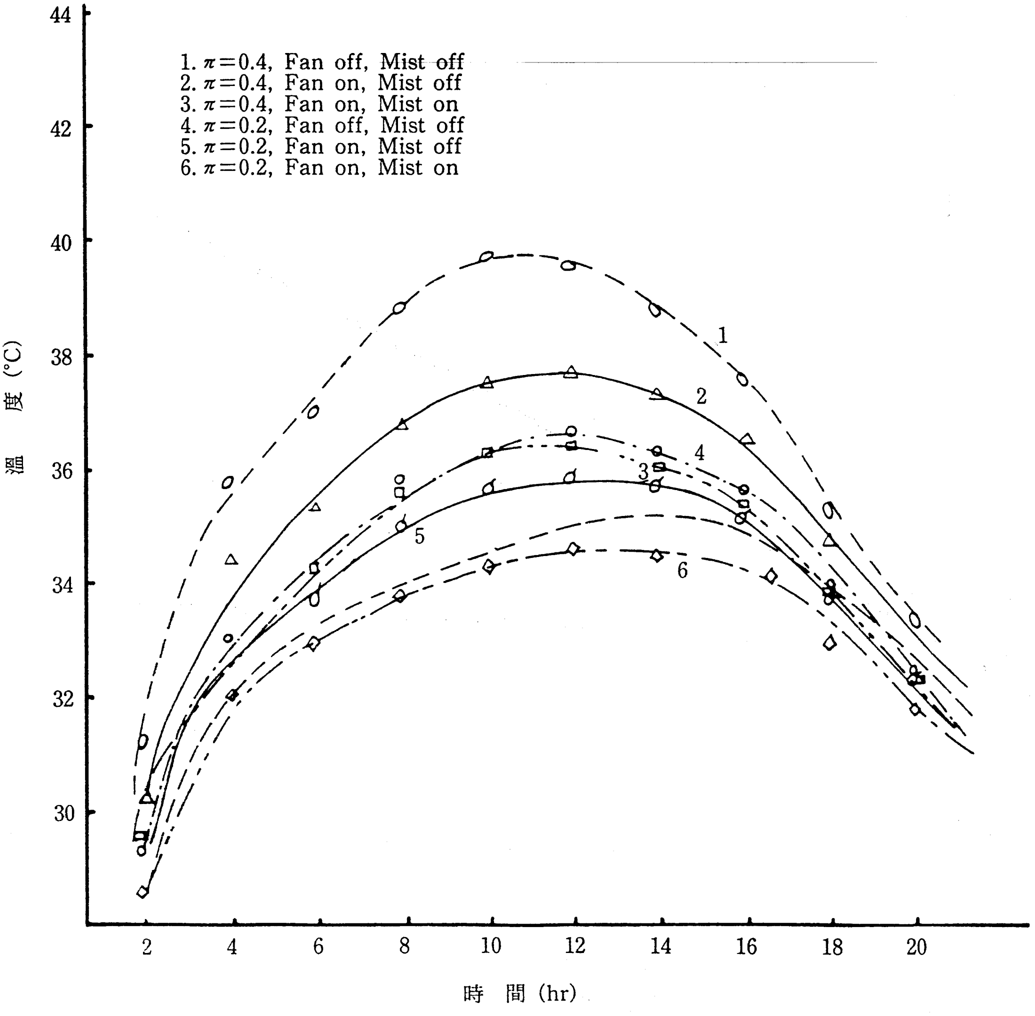


圖9. 圓弧型屋頂溫室室敏感性分析

Fig. 9. The model sensitivity analysis of simi-circular roof greemhouse

數需要加以探討。

(二)遮蔭網之物理性質，尤其對可見光部份的遮蔽光學性質，上下層空氣溫度不同時熱傳係數，與上下間有風壓存在時阻力係數。

(三)噴霧設備之性能研究：包括噴霧量與時間間隔之調整，降溫特性研究與移動式噴霧作業，對環控性能之影響。

(四)在相同作業情況下，外遮蔭裝置其降溫能力顯著於優於內遮蔭。而外遮蔭與屋頂距離太遠則產生結構強度之問題，太近則降溫效果不良，最適當之距離應加以研究。

結　論

由上述研究結果綜合結論如下：

一、此研究中所推衍內外遮蔭裝置對溫室內溫度之預測模式經驗證後十分合理，且準備性於1.5°C之內。

二、研究顯示遮蔭裝置對密閉性溫室效應無減弱效果，需配合通風裝置才有減少熱累積之功能。

三、在相同作業條件下，遮蔭網位於溫室外部比位於溫室內部有更好的降溫效果。

四、對開放型溫室而言，利用噴霧設備在低日照時可使溫室溫度略低於外界。

參考文獻

1. 邱活泉，吳中興，1988，溫室機械化遮光設施之研究，農業工程學報　34(2)：55—62。

2. 王鼎盛，邱文山，1990，本省溫室內溫度之預測模式，中國園藝　36(2)：108—122。

3. 陳加忠，陳志昇，黃照明，1992a，溫室環控模式之研究 I. 數學模式分析，中華農業研究　41(1)：79—89。

4. 陳加忠，陳志昇，黃照明，1992b，溫室環控模式之研究　II. 模式驗證與應用，中華農業研究　41(1)：90—114。

5. 陳加忠，1992，農用日照計之性能研究，中華農業研究　41(2)：124—132。

6. Oliveira, J. L. and M. L. Esmay 1981, Systeme model analysis for hot weather housing for livestock, ASAE paper No. 81—4564, ASAE.

7. Walker, J. N., R. A. Aldrich and T. H. Short, 1983. Quantity of air flow for greenhouse structures. In: Ventilation of agricultural structures, ed: H. A. Hellickson and J. N. Walker, P：257—277,ASAE.

Study on the Effect of Greenhouse Temperature for Shading equipment

C. C. Chen and C. S. Chen

Summary:

The purpose of this study is to test the effect of the shading epuipments on the greenhouse temperature and to develop a model to describe the effect of these devices. The detailed microclimate data of two type greenhouse with inner and outer shading nets were collected at various conditions. These data were used to evaluate the validness of the model. The accuracies of predictive ability of the model was within 2C. It is invalid to reduce the heat accumulation for the inner shading in the unventilation greenhouse. At the same condition, the cooling ability of the greenhouse with the outer shading better than that of inner shading. To estabilish more inforation of the physical propert for shading nets is required.

Key words : Shading equipments, Greenhouse, Environment model

1. Contribution No. 1646 from Taiwan Agricultural Reasearch Institute.
2. Associate Researcher, Assistant, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan 413, ROC.